第40卷 第1期　　昆 虫 学 报　　Vol. 40, No. 1
1997年2月　　ACTA ENTOMOLOGICA SINICA　　Feb., 1997

桃蚜对[反]-β-法尼烯的行为及电生理反应

张钟宁　涂美华　杜永均　方宇凌　陆　翊　刘　珣
(中国科学院动物研究所　北京　100080)
路　虹
(北京市农林科学院植保环保所　北京　100081)

摘要　[反]-β-法尼烯([E]-β-farnesene)是多种蚜虫的报警信息素成分。本文用触角分部切断法，检测到桃蚜 *Myzus persicae* 触角对[反]-β-法尼烯的敏感部位在原生感觉圈。嗅觉反应表明[反]-β-法尼烯对桃蚜的驱拒效果极显著。触角电位检测结果表明成蚜对[反]-β-法尼烯的电生理反应比若蚜敏感。

关键词　桃蚜，报警信息素，[反]-β-法尼烯，触角，行为反应，电生理反应

蚜虫在感受到天敌捕食或寄生等危险时，能从腹管中分泌出使周围蚜虫逃散的一些物质(即蚜虫报警信息素)，[反]-β-法尼烯是多种蚜虫报警信息素的主要组分[1~4]，该物质为倍半萜烯类化合物，易挥发，有特殊气味。

桃蚜 *Myzus persicae* 对[反]-β-法尼烯有很强的报警反应。本文利用合成的[反]-β-法尼烯，选择不同的浓度对桃蚜进行刺激，表明其有很好的驱拒活性，且浓度过高，其活性反而会降低[5]。在生物活性检测中，作者使用的两种方法，一为网罩法，一为嗅觉仪法。在触角电位测定中，桃蚜的触角对[反]-β-法尼烯有强的电生理反应；且通过分部切除触角的活性实验表明：桃蚜对[反]-β-法尼烯刺激感受强烈的部位在原生感觉圈。

1　材料和方法

1.1　[反]-β-法尼烯

[反]-β-法尼烯是由橙花叔醇(nerolidol)合成的[6]，产物经制备气谱分离纯化得纯品。

1.2　蚜虫种群

将桃蚜接种在温室油菜叶片上，令其自然繁衍。

1.3　生物活性测定方法

1.3.1　行为测定：(1) 触角切断法：选择4龄有翅桃蚜，用细微手术刀将触角鞭部剪掉

1994-12-12收稿，1996-02-12收修改稿

作为一组；在第 4 节处剪断(去掉原生感觉圈及鞭部)为另一组；用触角未受伤害的正常蚜虫为对照组。每组设 10 个重复，每个重复 10 头蚜虫。将各组蚜虫分别置于塑料网罩内，夹于油菜植株叶片背面栖息 24 h。(2) 网罩法：选择 4 龄以上的桃蚜 20 头左右，引种于油菜叶上，并用塑料网罩罩住，令其正常栖息。24 h 后，将网罩打开，并用 0.5％浓度的［反］-β-法尼烯己烷溶液 1 μL，缓慢施于蚜虫栖息地中心部位。观察 1 min 和5 min 蚜虫移动的数目，并与对照组(己烷)进行差异显著性 t 检验。(3) 嗅觉仪法：嗅觉仪用有机玻璃为材料，参考 Pettersson[7]和 Vet[8]等的装置而设计制作的。经通入氨气，以酚酞酒精溶液为显色剂检验，表明各象限气流界限清晰、均匀、稳定。嗅觉仪示意图见图 1。

在嗅觉仪的中心放置 15 头蚜虫。嗅觉仪的 4 个角以 30 mL/min 的速度经抽气泵通入经蒸馏水的潮湿空气。其中一个角导入的潮湿空气先经过样品，另外三个角导入空气为对照。记录导入样品及对照后 10 min 时蚜虫在各象限内的数目。每个样品在一个角重复 3 次。然后用 95％乙醇清洗，并用吹风机吹干。实验环境温度为 20℃，光源为自然光。

1.3.2　电生理测定法：触角电位测定仪自行组装。玻璃电极用内径 2 mm 玻璃毛细管拉制而成。使用前去掉部分顶端，玻璃电极中通入直径为 0.2 mm 的银-氯化银电极，连接微电极交直流放大器(NIHON，KOHDEN，MEZ-7101)，并串接后级放大器(南京电生理仪器厂，FZG-1A)，示波器(HAMEG，HM-203-6)和记录仪(Gould，Recorder220)。

将蚜虫自前胸与中后胸之间切下头胸部，除去前足及一条触角。将另一触角切除顶端，记录电极套在触角顶端上，将参考电极插入蚜虫触角基部。玻璃电极内灌入适量生理液。

用正己烷将合成的［反］-β-法尼烯配成 0.1％和 0.01％浓度的溶液。分别将它们对蚜虫触角进行气味刺激(流量 80 mL/min)，每次刺激时间为 0.2 s。间隔为 30 s 以上。

触角的活性可能随时间而变化，故使用 1％的顺-3-己烯-1-醇己烷溶液为参照样品。样品刺激与对照刺激相间进行。

2　结果与讨论

2.1　桃蚜的触角对［反］-β-法尼烯的感受部位

触角是蚜虫的嗅觉器官所在部位，其作用是感受外界的化学信息。有翅桃蚜的触角共有 6 节。第 6 节称端节，分基部和鞭部两个部分，在它们交界处以及第 5 节靠近端部各有一个原生感觉圈；在第 3 节上生有次生感觉圈。触角示意图见图 2。

将［反］-β-法尼烯配成 1 μL/mL 的己烷溶液。把塑料网罩打开，将上述样品 1μL 缓缓施于切断触角各组蚜虫栖息部位的叶片上，观察蚜虫移动情况，并进行显著性 t 检验。结果见表 1。

按表 1 的结果，三种不同处理触角的蚜虫对［反］-β-法尼烯的行为反应有较大差异。对［反］-β-法尼烯产生报警反应最为敏感的是全触角保留组（即触角未受损伤)，其移动率为 70％。去触角鞭部组的敏感性次之，其移动率为 66％。而去掉原生感觉圈，仅保留次生感觉圈组的蚜虫对［反］-β-法尼烯的报警反应，最不敏感，其移动率仅为 16％。全触角组与去鞭部组之间的 t 检验值为 0.02，表明两组数据未有明显差异。这表明对桃蚜

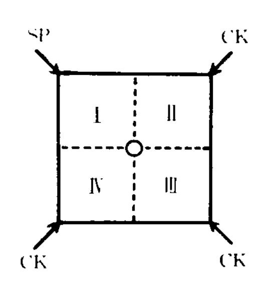


图 1 嗅觉仪示意图

Ⅰ～Ⅳ为4个象限； SP为样品气体导入；CK为对照气体导入；O为蚜虫施放位置及气体出口

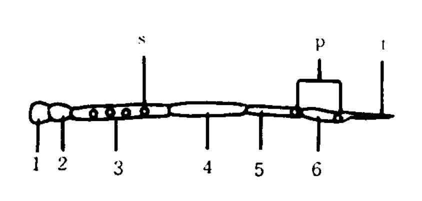


图 2 蚜虫触角示意图

1～6为触角各节； p为原生感觉圈；s为次生感觉圈； t为鞭部

触角的轻微伤害，其触角对［反］-β-法尼烯的反应不受影响。而仅具次生感觉圈组与全触角组和去鞭部组的 t 检验值分别为4.02和3.34，两者均在99%的水平上显著。

这个实验结果表明，桃蚜触角对蚜虫报警信息素［反］-β-法尼烯的敏感感受部位，在原生感觉圈，不在次生感觉圈的部位。

2.2 桃蚜对［反］-β-法尼烯的报警活性反应

网罩法：对正常栖息态的蚜虫种群，施以1 μL，浓度为0.5%的［反］-β-法尼烯己烷溶液，1 min和5 min后分别观察蚜虫移动。以己烷为对照，结果见表2。

表 1 桃蚜触角不同部位对［反］-β-法尼烯的报警行为反应（网罩法）

		触角全保留	去触角鞭部	仅具次生感觉圈
移动平均值(%)		70	66	16
t 检验值	全触角	—	0.02	4.02*
	去鞭部	0.02	—	3.34*

* 在99%的水平上显著。$t=3.25$ $P<0.05$

表 2 桃蚜对［反］-β-法尼烯报警活性反应（网罩法）

	移动率	均值（%）
时间	1 min	5 min
己烷	2.0	2.4
［反］-β-法尼烯	36.0	37.6
t 检验	5.53	7.71
	$t=4.07$	$P<0.001$

根据表2可见，［反］-β-法尼烯对桃蚜有极为明显的驱散作用，以己烷为对照时，1 min和5 min桃蚜的移动率仅分别为2%和2.4%；而在［反］-β-法尼烯的刺激下，桃蚜在1 min和5 min时其移动率分别高达36%和37.6%。对照组与处理组在1 min和5 min的 t 检验分别为5.53和7.71，高于在99.9%水平显著性检验值4.07。由此可见，［反］-β-法尼烯对桃蚜的栖息行为有明显的影响作用。

嗅觉仪测验法：嗅觉仪试验共进行了10次重复，其结果见表3。其中蚜虫均数是指桃蚜栖息于各个象限内蚜虫的平均数。

在嗅觉仪的实验中，第Ⅰ象限是［反］-β-法尼烯的充溢区。蚜虫的初始状态是在嗅觉仪的中心位置，一旦实验开始，［反］-β-法尼烯充溢第Ⅰ象限时，大部分蚜虫立刻向其相反方向逃逸，进入第Ⅲ象限，其中部分或直接进入或经第Ⅲ象限扩散进入Ⅱ、Ⅳ象限。故处在第Ⅲ象限的蚜虫最多，Ⅱ、Ⅳ象限次之，小部分蚜虫或在移动中或对［反］-β-法

尼烯的刺激反应弱而处于第Ⅰ象限。

表3　桃蚜对［反］-β-法尼烯的报警活性反应（嗅觉仪）

	无翅成蚜				有翅成蚜			
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
蚜虫均数	9.8	11.7	39.2	14.3	11.5	12.3	33.6	17.6
	—	1.53	24.77	2.00	—	0.82	28.68	2.24
t 检验	—	—	22.67	1.57	—	—	27.80	1.29
	—	—	—	20.68	—	—	—	25.05
	$t=2.26$　$P<0.05$				$t=4.78$　$P<0.001$			

实验结果表明，有翅桃蚜和无翅桃蚜对［反］-β-法尼烯均有强的报警活性反应。由于［反］-β-法尼烯的作用，栖息于第Ⅲ象限的蚜虫数明显高于其它三个象限。t 检验值均大于20.0，远高于在99.9%水平上显著值4.78。这说明了［反］-β-法尼烯对桃蚜确实有着明显的驱拒作用。

由于桃蚜对［反］-β-法尼烯的报警反应强，故首先进入第Ⅲ象限，而进入第Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ象限的蚜虫均明显少于第Ⅲ象限。其中第Ⅰ象限的蚜虫数，又少于第Ⅱ、Ⅳ象限。Ⅰ象限与Ⅱ、Ⅳ象限相比较的 t 检验值表明无显著性差异。

2.3　桃蚜［反］-β-法尼烯的触角电位反应（EAG）

本实验检测了不同形态的蚜虫（有翅、无翅）之触角对0.1%和0.01%两个浓度的［反］-β-法尼烯的己烷溶液的电生理反应。实验以顺-3-己烷-1-醇为参比化合物。结果见表4。表中的数值为处理与对照之触角电位的百分比，即相对EAG。

表4　桃蚜触角对［反］-β-法尼烯EAG反应相对值

	成蚜		若蚜	
	有翅	无翅	有翅	无翅
0.1%EBF	149	81	123	140
0.01%EBF	166	143	109	116

注：EBF（［反］-β-法尼烯）

从表4的结果来看，桃蚜的触角对［反］-β-法尼烯的刺激，有明显的电生理反应，不管成蚜或若蚜，有翅或无翅均如此。其中成蚜对低浓度的［反］-β-法尼烯的反应强于高浓度的；而对若蚜来讲则是高浓度的强于低浓度的。这可能是成蚜的防御系统（包括释放和接受）已发育完全，而若蚜的防御系统则尚未发育完全所致。

桃蚜对［反］-β-法尼烯的反应有一个最佳浓度范围[9~10]。如果浓度太低则不足以引起刺激反应，但浓度过高时，其对刺激的反应反而被抑制。

参　考　文　献

1　Bower W S, Nault L R, Webb R E, Dutky S R. Aphid alarm pheromone: isolation, identification, synthesis. Science, 1972, **177**: 1121～1122

2　Edwards L J, Siddall J B, Dunham L L, Uden P *et al*. Trans-(β)-farnesene, alarm pheromone of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer). Nature, 1973, **241**: 126～127

3 Nault L R, Edwards L J, Styer W E. Aphid alarm pheromones: secretion and reception. Env. Ent., 1973, **2**: 101～105

4 Pickett J A, Griffiths D C. Composition of aphid alarm pheromones. J. Chem. Ecol., 1980, **6**: 349～360

5 张钟宁，刘珣，梅雪琴等. 蚜虫报警信息素与杀虫剂混用——一种防治蚜虫新方法的研究. 动物学集刊，1993，**10**: 1～5

6 Dawson G W, Griffiths D C, Pickett J A, Smith M S *et al.* Improved preparation of (E)-β-farnesene and its activity with economically important aphids. J. Chem. Ecol., 1982, **8**: 1111～1117

7 Pettersson J. Studies on *Rhopalosiphum padi* (L.) I. Laboratory studies on olfaction responses to the winter host *Prunus papus* (L.) Lantbrukshogsk Annlr 1970, **36**: 381～399

8 Vet L E M, Lenteren J C C van, Heymans M, Meelis E. An airflowolfactometer for measureng olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects. Physiological Entomology, 1983, **8**: 97～106

9 Wientjens W H J M, Lakwijk A C, Van Der Marel T. Alarm pheromone of grain aphids. Experientia, 1973, **29**: 658～660

10 张钟宁，陈晓社，张广学，刘珣等. 蚜虫报警信息素与类似物的合成及其对桃蚜定居行为的影响. 昆虫学报，1989，**32**: 376～379

BEHAVIORAL AND ELETROPHYSIOLOGICAL RESPONSE OF *MYZUS PERSICAE* TO STIMULUS OF (E)-β-FARNESENE

Zhang Zhongning Tu Meihua Du Yongjun Fang Yuling Lu Yi Liu Xun

(*Institute of Zoology, Academia Sinica Beijing* 100080)

Lu Hong

(*Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agricaltural and Forestry Sciences Beijing* 100081)

Abstract (E)-β-farnesene is a main component of aphid alarm pheromone. The sensory part of an antennae of *Myzus persicae* to (E)-β-farnesene is located in the primary rhinaria as shown by cutting antennae experiment. The results of olfactory test showed that (E)-β-farnesene was very effective in repelling *Myzus persicae* and the capability of response to (E)-β-farnesene in the adult *Myzus periscae* is stronger than that in the young ones by EAG test.

Key words *Myzus persicae*, alarm pheromone, (E)-β-farnesene, antennae, behaviour respouse, electophysiological response